

# HYDROGÉOLOGIE

Georges M., 1988. Hydrogéologie In : Élevage et potentialités pastorales sahéliennes. Synthèses cartographiques. Mali = Animal husbandry and sahelian pastoral potentialities. Cartographic synthesis. Mali. CIRAD-IEMVT - FRA. Wageningen : CTA-CIRAD-IEMVT, 19. ISBN 2-85985-121-6 ; 2-85985-123-2

Le socle précambrien ancien (Suggarien, Birrimien et Pharusien), formé essentiellement de granites et d'ectinites d'origines cristallophyllienne et volcano-sédimentaire appartenant au vaste craton Ouest-Africain, n'émerge au Mali qu'au Sud de Bamako, dans l'Adrar des Ifoghas et en bordure des frontières sénégalaise et mauritanienne, à l'extrémité occidentale du pays.

Longtemps après la mise en place de ces formations a débuté au Précambrien supérieur la constitution d'un immense bassin marin de subsidence, le bassin de Taoudenni, qui couvre les deux tiers du Mali (Nord, Centre et Ouest du pays).

La partie précambrienne de ce bassin, qui est relayé à sa bordure sud-est, dans le Gourma, par un autre bassin subsident contenant des sédiments contemporains métamorphisés et plissés schisteux et schisto-gréseux mais également calcaro-dolomitiques, forme notamment les plateaux gréseux (par endroits intercalés de schistes, d'argiles et de calcaires dolomitiques) du Tambaoura, Manding et Dogon, et les plaines et glacis de la région de Bamako constitués principalement de grès plus tendres. Dans la boucle du Niger, les dépôts précambriens se composent d'une succession d'horizons gréseux, schisteux, calcaro-dolomitiques et quartzitiques.

Le remplissage du bassin de Taoudenni s'est poursuivi au Primaire. Le Cambro-ordovicien inférieur comprend dans le Mali nord-occidental et les régions de Kayes-Yélimé une tillite à ciment calcaro-dolomitique à la base, puis des jaspes, des argiles multicolores, des grès fins et des calcaires dolomitiques. Dans les cercles de Nioro, Diéma et Nara, il apparaît principalement sous un faciès de pélites schisteuses dites « schistes de Nara ». Le Cambro-ordovicien supérieur, essentiellement gréseux, forme un arc de cercle d'une longueur de 500 km dans la partie septentrionale du pays. Il encercle les horizons grésio-argileux et calcaro-marneux du Dévonien, qui entourent eux-mêmes d'un mince liseré la moitié nord de la vaste zone d'affleurement du Carbonifère, qui constitue le cœur du bassin de Taoudenni et contient de puissants niveaux gréseux et calcaires.

Ces formations précambriennes et primaires du bassin de Taoudenni se présentent dans l'ensemble comme une succession d'auréoles subhorizontales et très grossièrement concentriques.

Des intrusions basiques post hercyniennes (dolérite essentiellement) assez étendues se sont mises en place au Permien dans la partie ouest du pays et dans une moindre mesure à son extrémité nord.

Après une nouvelle émergence, d'autres bassins se sont créés dans l'Ouest-africain au Secondaire et au Tertiaire, dont le bassin du Niger qui s'étend en partie au Mali.

Le Continental intercalaire (Crétacé inférieur) affleure assez largement, avant de s'envoyer sous les formations dunaires, au Sud de la région de Taoudenni. Il présente des faciès essentiellement gréseux avec des niveaux quartzitiques à la base. On le rencontre également le long des frontières algérienne et nigérienne, de part et d'autre de l'Adrar des Ifoghas, sous forme de puissants dépôts grésio-argileux, et dans la fosse de Nara, profonde d'environ 200 m, qui s'étend à l'Est de la ville sur une longueur de 350 km et une largeur de 40 à 80 km.

Formant une auréole plus étendue autour de l'Adrar des Ifoghas, le Crétacé supérieur et l'Eocène inférieur alternativement marins et continentaux sont représentés par des calcaires, des grès, des marnes et des argiles. Ils occupent le fossé d'effondrement N-S du détroit soudanais, situé à l'Ouest de l'Adrar.

Le Continental terminal dessine à l'affleurement au Mali méridional et oriental trois plages de superficie inégale. La série de Ségou, constituant la plage la plus occidentale, est faite de sédiments argilo-sableux bariolés, souvent grossiers, d'origine vraisemblablement fluvio-lacustre. Au Sud-Est (frontière burkinabé), la plaine du Gondo correspond à un complexe fluvio-lacustre de piémont contenant une alternance de sables plus ou moins argileux versicolores renfermant des grès. La plage la plus importante, qui s'étend depuis l'Ouest de l'Adrar des Ifoghas jusqu'à la frontière nigérienne, comporte dans sa partie nord des grès fins argileux ferrugineux, et au Sud des grès bariolés plus ou moins grossiers et des argiles.

Des alluvions quaternaires anciennes et actuelles occupent la plaine alluviale du Niger. Elles sont composées de sables et d'argiles. Un vaste complexe dunaire d'une épaisseur de 30 à 50 m masque les autres formations, notamment le Continental terminal et le Continental intercalaire, sur tout le centre Ouest du pays.



## Les principaux systèmes aquifères

L'hydrogéologie des formations primaires qui affleurent dans la partie nord du pays est très mal connue. Leur nature lithologique laisse entendre l'existence d'aquifères discontinus, aux réserves non renouvelables. Dans les autres régions les aquifères, plus ou moins explorés suivant essentiellement la répartition de la population qui conditionne la localisation des projets de mise en exploitation des eaux souterraines, appartiennent à deux catégories : les aquifères généralisés à perméabilité d'interstices (ou à très forte densité de fracturation) et les aquifères discontinus à perméabilité principale de fissure/fracture.

### Aquifères discontinus

#### Socle cristallin et métamorphique ancien

Il n'est aquifère qu'au niveau des fissures et des arènes sableuses saturées, l'ensemble des formations d'altération, même argileuses, constituant globalement un réservoir capacitif alimentant les fissures-fractures sous-jacentes.

L'altération du socle est semble-t-il peu développée et assez souvent dénoyée dans la région de Kayes, plus épaisse et relativement aquifère au Sud de Bamako. Les pourcentages d'échec en hydraulique villageoise (productivités inférieures à 0,5 m<sup>3</sup>/h) sont assez élevés (45 à 50 % environ), le socle sain étant dans l'ensemble peu fissuré. Des débits assez importants peuvent cependant être rencontrés (12 % des forages de la région de Kayes sur un échantillon de 25 ouvrages produisent plus de 5 m<sup>3</sup>/h).

Le socle de l'Adrar des Iforas est hydrogéologiquement mal connu.

#### — Précambrien supérieur du Gourma

Les schistes, quartzites et calcaires dolomitiques peuvent être aquifères (zones fissurées). Des forages de 50 à 100 m de profondeur bien implantés sont susceptibles de fournir des débits de l'ordre de 1 à 10 m<sup>3</sup>/h. Les développements karstiques dans les calcaires et calcaires dolomitiques devraient permettre d'obtenir localement des débits plus importants mais leur détection n'est pas aisée. Les niveaux piézométriques sont en général profonds (30 à 50 m).

#### — Grès du Précambrien supérieur

Ils renferment le principal aquifère discontinu (semi-continu dans les zones à forte densité de fissuration) du Mali et plus des deux tiers des forages productifs y sont localisés, dans la partie ouest du pays notamment. Les produits d'altération peuvent être aquifères, mais leur frange saturée est en général peu épaisse (sauf dans la région de Bamako), et ce sont principalement les grès fracturés qui sont exploités. Les principales venues d'eau se rencontrent majoritairement entre 20 et 60 m de profondeur et les niveaux piézométriques s'établissent de 10 à 25 m environ. Des fractures bien aquifères peuvent exister à des profondeurs supérieures à 80-100 m, mais la probabilité d'en traverser par forage est semble-t-il assez faible. Les grès sont inégalement productifs. Dans la région de Sikasso (ESE de Bamako) et à l'extrémité ouest du pays (grès de Tambaoura et de l'Affolé, la fracturation est globalement assez faible et les échecs assez nombreux. Sur les plateaux Mandingues et dans la région de Bamako par contre, les forages fournissent, en moyenne, environ 5 m<sup>3</sup>/h, mais l'obtention de débits nettement plus importants (10-20 m<sup>3</sup>/h et plus) n'est pas rare. A cet égard, il faut noter que les résultats des campagnes de forage d'eau donnent une image pessimiste des potentialités de ce type d'aquifère puisque les débits recherchés sont en général faibles (1 à 2 m<sup>3</sup>/h). Des productivités de 50 à 100 m<sup>3</sup>/h peuvent ainsi être atteintes dans des zones favorables si les implantations d'ouvrage sont faites après études approfondies (photo-géologie, géophysique).

#### — Schistes cambriens de Nara

Imperméables dans leur masse, ils possèdent cependant des réseaux de fissures aquifères d'extension limitée. Environ 40 % des forages réalisés dans cette formation ont fourni plus de 0,5 m<sup>3</sup>/h. Malgré le taux d'échec très important, le débit moyen des ouvrages productifs est assez élevé (environ 5 m<sup>3</sup>/h). La fissuration est en général assez importante au contact des intrusions doléritiques. Les venues d'eau sont rencontrées à des profondeurs variant entre 10 et 70 m, mais les trois quarts d'entre elles sont situées à moins de 40 m. Les niveaux piézométriques sont en général situés à moins de 20 m du sol.

#### — Tillites - jaspes - calcaires du Cambro-ordovicien inférieur

On possède peu de données sur cet ensemble. Les tillites semblent posséder de bonnes qualités aquifères, sur le plan de l'hydraulique villageoise tout au moins. Les jaspes et les calcaires dolomitiques pourraient présenter une fissuration bien développée, mais cela reste à démontrer. Les argilites contenues dans la série sont très peu perméables.

#### — Intrusions doléritiques du Permien

Elles sont aquifères sur leur périphérie, une fissuration s'étant développée au niveau des zones de contact. La partie interne des massifs doléritiques présente par contre un très faible intérêt hydrogéologique.



## **Aquifères généralisés**

### **— Continental intercalaire**

Dans le fossé de Nara, l'épaisseur des formations perméables du Continental intercalaire ne dépasse pas 25 m, et les débits obtenus par forage sont de l'ordre de 10 à 15 m<sup>3</sup>/h pour des rabattements de 20 à 30 m. Le niveau piézométrique de la nappe se situe entre 50 et 90 m sous le sol. La granulométrie du matériau aquifère et donc sa perméabilité serait plus grande dans la zone est du fossé que dans sa zone ouest.

Sur la bordure de l'Adrar des Ifoghas, les horizons perméables du Continental intercalaire sont localisés à des profondeurs variables mais souvent supérieures à 100 m. Les débits obtenus par forages profonds de 150-200 m sont de l'ordre de 10 m<sup>3</sup>/h pour des rabattements compris entre 3 et 10 m, le niveau de l'eau sous le sol se situant entre 35 et 60 m.

Au Sud des affleurements carbonifères de Taoudenni, sur le plateau d'El Khnachich, le Continental intercalaire renferme des horizons aquifères limités, produisant une eau généralement douce.

### **— Calcaires et grès du Crétacé supérieur - Eocène inférieur**

Ils sont exploités en bordure de l'Adrar et dans la vallée de Tilemsi par des forages débitant une dizaine de m<sup>3</sup>/h pour des rabattements très variables (10 à 30 m).

### **— Continental terminal**

La nappe du Continental terminal est dans le delta central du Niger directement alimentée par les alluvions quaternaires. Elle s'équilibre avec le plan d'eau du fleuve dont l'altitude varie en étiage de 261 m à Mopti à 257 m à Tombouctou. A partir de ce plan d'eau la nappe, libre, s'écoule dans les formations du Continental terminal jusqu'à 300 km au Nord du fleuve où elle finit par disparaître sous le double effet des pertes de charge et de l'évaporation à travers un important manteau de sables dunaires secs. La nappe est exploitée par des puits de 30 à 35 m dans la région de Ségou, de 50 à 60 m au Nord de Maeina et dans les cercles de Tombouctou et de Gao. La salinité de l'eau augmente avec l'éloignement du fleuve. Les forages qui captent le Continental terminal le long du fleuve, profonds de moins de 100 m, produisent plusieurs dizaines de m<sup>3</sup>/h avec des rabattements parfois faibles (45 m<sup>3</sup>/h pour 30 m de rabattement à Ségou, 38 m<sup>3</sup>/h pour 4 m à Mopti, 30 m<sup>3</sup>/h pour 3 m à Tombouctou). La productivité de l'aquifère serait plus faible dans l'Azouad, conjointement à l'enfoncement du niveau piézométrique, d'où la nécessité d'y réaliser des ouvrages de captage plus profonds. La profondeur de la nappe devient supérieure à 100 m à l'Ouest de Gao.

La nappe du Continental terminal, drainée par les fractures des calcaires sous-jacents, est assez mal connue dans la plaine du Gondo. Les débits obtenus au Burkina sont assez faibles (1 à 10 m<sup>3</sup>/h), mais les potentialités réelles de l'aquifère sont sans doute au moins localement nettement supérieures.

### — Recouvrements quaternaires

Les alluvions de la cuvette du Niger, reconnues sur une dizaine de mètres d'épaisseur, s'étendraient sur une surface de 90 000 km<sup>2</sup>. Elles sont souvent difficiles à différencier du Continental terminal.

Les sables éoliens discontinus reposant sur les grès ou les schistes-pélites contiennent localement des aquifères de petite dimension, susceptibles d'être alimentés par les eaux de pluie concentrées par ruissellement. Ils peuvent constituer localement les seuls aquifères exploitables, lorsque les formations sous-jacentes s'avèrent imperméables.

Les formations dunaires et latéritiques peuvent également renfermer des nappes locales.

Villageois et pasteurs exploitent traditionnellement, par de nombreux puits, ces nappes superficielles.

## Ressources exploitables

Une évaluation approximative des ressources exploitables en eau souterraine du Mali a été réalisée en 1976. Elle concerne 800 000 des 1 240 000 km<sup>2</sup> du pays, la partie nord de ce dernier n'ayant pas été prise en compte.

Cette quantification fait appel aux notions de **ressources renouvelables naturelles (potentielles)**, qui traduisent la part des précipitations qui atteint et alimente les aquifères en année moyenne, et de **réserves exploitables**, qui représentent le volume d'eau emmagasiné au sein de l'aquifère, dont l'exploitation se traduit, si aucune ressource renouvelable ne vient la compenser, par une vidange du réservoir. En nappe libre, le volume exploitable considéré est celui qui serait libéré par un abaissement de la surface piézométrique égal au tiers de l'épaisseur saturée jusqu'à la profondeur limite de 100 m. En nappe captive, il correspond au volume libéré par l'aquifère pour un abaissement de la surface piézométrique jusqu'à 100 m sous le sol (sans dénoyage du réservoir).



Les évaluations suivantes, qui ne tiennent pas compte des apports par eau de surface, ont ainsi été établies :

Aquifère	Lame d'eau infiltrée Moy. théor. équiv. (mm)	Volume ressource renouv. natur. (Mm <sup>3</sup> /an)	Volume réserve exploitable (Mm <sup>3</sup> )
Socle ancien	15	2 230	indéterminé
Précambrien sup. du Gourma	≠ 0	≠ 0	"
Grès du Précambrien sup.	46	9 150	"
Schistes cambriens de Nara	4	230	"
Continental interc. de Nara	≠ 0	≠ 0	"
Continental interc. de l'Adrar	≠ 0	≠ 0	5 100 - 10 200
Crétacé sup. - Eocène inf.	≠ 0	≠ 0	760 - 1 500
Continental terminal Azaouad	5	1 000	63 650 - 148 800
Continental terminal Gondo	20	450	2 200 - 5 500
		13 060	71 700 - 166 000

## Perspectives de développement

Malgré des conditions climatiques globalement peu favorables, le sous-sol du Mali recèle des ressources en eau souterraine importantes, du fait notamment du développement considérable des formations fracturées gréseuses et dans une moindre mesure calcaires et des formations meubles grés-sableuses. Même les ressources du socle ancien, grâce au perfectionnement des techniques de prospection, permettent dans la majorité des cas de fournir aux populations rurales les quantités d'eau minimales qui leur sont nécessaires.

La fourniture d'eau aux populations rurales, qui représentent 83 % de la population totale du pays, est prioritaire depuis des années dans les plans de développement du Mali. Le nombre de points d'eau équipant les villages a ainsi été porté à près de 7 000 à fin 1984, dont 5 600 forages. A cette date, les financements étaient acquis pour la réalisation de 4 800 ouvrages supplémentaires, l'objectif étant de parvenir à mettre à la disposition des 10 200 villages du Mali 26 000 points d'eau à l'horizon 1990.

L'alimentation en eau potable des 81 centres urbains de plus de 5 000 habitants a également été planifiée. Cinquante-quatre d'entre eux étaient pourvus fin 1984 de réseaux d'adduction et de distribution parfois sommaires. Il est prévu à l'horizon 1990 de renforcer ou de mettre en place des adductions, alimentées de préférence par forages, sur l'ensemble des centres possédant plus de 10 000 habitants. Les centres moins importants devraient être équipés entre 1990 et 1995.

Le développement des cultures irriguées, au niveau villageois notamment, est une nécessité pour l'essor du pays et l'amélioration des conditions de vie des populations. Le pourcentage assez important de forages à vocation villageoise produisant 5 m<sup>3</sup>/h et plus montre qu'il y a certainement au Mali de fortes potentialités dans le domaine des petits périmètres irrigués.

L'élevage joue un rôle déterminant dans l'économie du pays. L'accroissement, voire même la conservation du cheptel, nécessitera une augmentation importante des infrastructures hydrauliques pastorales, qui n'est pas encore précisément planifiée. Mais dans ce domaine, c'est plus les ressources en pâturage que les ressources en eau souterraine qui peuvent constituer un obstacle au développement.